

## الفصل الرابع

### تحليل وتصميم الانحناء للعتبات

### Flexural Analysis and Design of Beams

#### 1.4 مقدمة

يتم تحليل وتصميم العتبات الخرسانية المسلحة بطريقتين الأولى طريقة إجهادات التشغيل وقد تمت دراستها في الفصل الثالث والثانية هي طريقة المقاومة والتي سنتدرسها في هذا الفصل ولا بد من توضيح الأسس والمبادئ التي تعتمد عليها الطريقة قبل توضيح كيفية استخدامها لتحليل وتصميم العتبات الخرسانية المسلحة .

#### 2.4 طريقة المقاومة Strength Method

في هذه الطريقة تصمم الأعضاء الإنشائية وتحال على أساس الأحمال القصوى التي يتحملها المنشأ عند الفشل أي عند وصول الاجهادات للخرسانة والحديد إلى قيمها القصوى ونحصل على الأحمال القصوى بضرب الأحمال المتوقع تسليطها طيلة عمر المنشأ بمعاملات تسمى معاملات الأمان ( safety factors ) .

إن تحليل المقاطع بهذه الطريقة يقصد به إيجاد المقاومة القصوى لها عند وصول الاجهادات إلى قيمها القصوى . أما التصميم فيقصد به إيجاد كل أو بعض أبعاد المقطع وكذلك كمية حديد التسليح عند تعرض المنشأ للأحمال القصوى .

يكون توزيع الاجهادات عند الفشل غير خطي . أما توزيع الانفعالات فيبقى خطياً . ولا يعرف بصورة تحليلية مضبوطة شكل توزيع الاجهادات وقد اعتمد التوزيع الذي اقترحه بعض الباحثين من قبل الكود والذي يكون على شكل قطع مكافئ (parabola) وهو يعتمد على عدد كبير من التجارب المختبرية .

هناك مفاهيم مهمة تخص التحليل والتصميم بهذه الطريقة سنعرف أهمها :

أ- الأحمال الخدمية ( service loads ) : وهي الأحمال التي تسلط فعلاً على المنشأ مثل الأحمال الحية والميتة وأحمال الريح وغيرها .

ب- الأحمال المعاملة ( القصوى ) ( Factored loads ) : وهي الأحمال الناتجة عن ضرب الأحمال الخدمية بمعاملات الأمان .

ج- القوى والعزوم التصميمية ( Design forces and moments ) : وهي القوى والعزوم الناتجة عن الأحمال القصوى مثل عزم الانحناء وقوة القص والقوة المحورية

وغيرها ويرمز لعزم الانحناء التصميمي ( $M_{II}$ ) ولقوة القص التصميمية ( $V_{II}$ ) وللقوة المحورية التصميمية ( $V_{II}$ ) ولعزم اللي التصميمي ( $T_{II}$ ). وقد تسمى القوى والعزوم المعاملة (Factored Forces and Moments)

هـ - المقاومة المطلوبة (Required strength) : وهي المقاومة التي يجب أن يوفرها المقطع وتساوي القوى والعزوم التصميمية ، فالمقاومة المطلوبة للانحناء فعلا هي ( $\mu$ ) وهكذا بالنسبة لباقي أنواع المقاومة .

و - المقاومة الاسمية (Nominal strength) : مقاومة المقطع المحسوبة على أساس نظرية المقاومة ومتطلبات الكود وهي أقصى مقاومة للمقطع ويفترض من الناحية النظرية أن تساوي المقاومة التي يفشل عندها المقطع ويرمز للمقاومة الاسمية للانحناء بالرمز ( $M_{II}$ ) وللقص بالرمز ( $V_{II}$ ) وللقوة المحورية بالرمز ( $P_{II}$ ) وللي بالرمز ( $T_{II}$ )

ز - المقاومة التصميمية (Design strength) : وهي مقاومة المقطع التي يتم اعتمادها في التحليل والتصميم وتساوي حاصل ضرب المقاومة الاسمية بمعامل أقل من واحد يسمى معامل خفض المقاومة ويعود سبب ذلك إلى عدم التأكد من مقاومات المواد والتقريب في التحليل والتصميم وسيتم ذكر قيم معامل خفض المقاومة للأعضاء الإنشائية في الفقرة التالية.

### الفرضيات الأساسية للطريقة Basic Assumptions

تعتمد النظرية على الفرضيات الأساسية التالية :

- 1- القوى الداخلية للمقطع تكون متوازنة مع القوى الخارجية ، وهي حقيقة لأن أي جسم مستقر يجب أن تكون القوى عليه متوازنة كشرط لاستقراره .
- 2- وجود تماسك تام بين الخرسانة وحديد التسليح .
- 3- المقاطع المستوية قبل التحميل تبقى مستوية بعد تسليط الأحمال . هذا الافتراض يعني أن الانفعالات تكون متناسبة مع البعد عن محور الحيود (N.A) .
- 4- إهمال إجهادات الشد التي تتحملها الخرسانة .
- 5- الطريقة تبنى على أساس العلاقة الفعلية بين الإجهاد والانفعال لمادتي الخرسانة والحديد وليس على التقريب كما هو الحال مع طريقة إجهادات التشغيل .
- 6- إجهاد الحديد لا يزيد عن مقاومة الخضوع ( $f_y$ ) لاحظ الشكل (2.1) .

### 3.4 معاملات الأمان Safety Factors :

معاملات الأمان يمكن أن تعرف بطريقتين :

## الاجهاد الاقصى

أ- معامل الأمان = \_\_\_\_\_

الاجهاد المسموح به

الحمل الاقصى

ب- معامل الامان = \_\_\_\_\_

الحمل الخدمي

عند التصميم بطريقة إجهادات التشغيل يتم اعتماد التعريف الأول حيث تعتمد الأحمال الحقيقية المسلطة على المنشأ ( الخدمية ) وتقسّم الاجهادات القصوى على معامل أمان يكون أكبر أو يساوي (2) للحصول على الاجهادات الخدمية (المسموح بها) .

أما عند استخدام طريقة المقاومة فيتم اعتماد التعريف الثاني ذلك لأننا نعتد الاجهادات القصوى لمادتي الحديد والخرسانة وهنا يتم ضرب الأحمال التي يتعرض لها المنشأ بمعاملات الأمان للحصول على الأحمال القصوى التي يصمم المقطع على أساسها .

يتم اعتماد معاملات الأمان بسبب عدم التأكد الناتج عما يلي :

- 1- الأحمال الحقيقية قد تختلف عن تلك المعتمدة في التصميم .
  - 2- قد توزع الأحمال بطريقة مغايرة لما اعتمد في التصميم .
  - 3- الافتراضات والتبسيطات المعتمدة في التحليل النظري قد تؤدي إلى أن القوى الداخلية والعزوم تكون مختلفة عن تلك المحسوبة بالتحليل .
  - 4- قد يكون التصرف الحقيقي للمنشأ مختلفا عن المفترض بسبب قلة المعرفة الحالية .
  - 5- قد تختلف أبعاد المقطع عن المحددة بالتصميم .
  - 6- قد لا تكون قضبان التسليح في مكانها المحدد بالتصميم .
  - 7- المقاومة الحقيقية للمواد الداخلة في المنشأ قد تختلف عن المحددة من قبل المصمم .
- وهناك نوعان من المعاملات المعتمدة من قبل الكود :

## 1.3.4 معاملات الحمل Load Factors

هناك عدد كبير من الأحمال التي قد يتعرض لها المنشأ لكل منها معامل أمان معين لكن المهم من هذه الأحمال ثلاثة أنواع هي الأحمال الميتة والحية وأحمال الريح وقد تم تعريف هذه الأنواع من الأحمال في الفصل الثاني . إن المقاومة التي يجب توفيرها لمقاومة الحمل الميت والحي يجب أن تساوي على الأقل :

$$U = 1.2D + 1.6L \dots\dots\dots(1.4)$$

حيث  $U =$  المقاومة المطلوبة  $L =$  الحمل الحي  $D =$  الحمل الميت

إن زيادة معامل الأمان للحمل الحي عن الميت يعود إلى أن المصمم يمكنه تقدير قيم الأحمال الميتة بصورة أفضل بكثير من الأحمال الحية .

عند أخذ أحمال الرياح ( $W$ ) والثلج ( $S$ ) والمطر ( $R$ ) وأحمال السطح ( $L_r$ ) بنظر الاعتبار إضافة إلى الأحمال الحية والميتة فإن الكود يعتمد معاملات الأمان التالية :-

$$U = 1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (1.0L \text{ or } 0.8W) \dots \dots \dots (2.4)$$

$$U = 1.2D + 1.6W + 1.0L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R) \dots \dots \dots (3.4)$$

وعند أخذ قوى الشد المتولدة بسبب الرياح على الاعضاء فإن القوى العمودية تنقل إلى أقل حد ممكن . عنئذ يمكن اعتبار الحمل الحي صفرا وتقليل الحمل الميت بنسبة (10%) وعلى هذا الأساس فإن الكود يأخذ الاحتمال التالي بنظر الاعتبار :

$$U = 0.9D + 1.6W \dots \dots \dots (4.4)$$

إن سبب خفض قيمة الحمل الميت في هذه الحالة هو احتمال الزيادة في تقدير الحمل الميت من قبل المصمم ويتم تطبيق المعاملات أعلاه لحالات التحميل المختلفة وتعتمد الحالة التي تسبب أعلى قيمة للمقاومة المطلوبة ( $U$ ) وهذه المعاملات تمثل الحد الأدنى ويمكن زيادتها في الحالات التي يشعر المصمم أن نتائج الفشل تتطلب ذلك .

### 2.3.4 معاملات خفض المقاومة Strength Reduction Factors

تكرنا سابقاً أن المقاومة التصميمية يتم الحصول عليها بضرب المقاومة الاسمية بمعامل أقل من واحد يسمى معامل خفض المقاومة ويرمز له بالرمز ( $\phi$ ) وبذا فإن المقاومة التصميمية الانحناء يرمز لها ( $\phi M_n$ ) والمقاومة التصميمية للقص يرمز لها ( $\phi V_n$ ) والمقاومة التصميمية للحمل المحوري يرمز لها ( $\phi P_n$ ) وهكذا بالنسبة لباقي أنواع المقاومة .

تختلف قيمة هذا المعامل باختلاف أنواع المقاومة المطلوبة فهو يساوي :-

للأعضاء التي يتحكم فيها فشل الشد  $\phi = 0.9$

للأعضاء التي يتحكم فيها فشل الانضغاط :-

أ- للأعضاء حلزونية التسليح  $\phi = 0.7$

ب- لباقي الأعضاء المسلحة  $\phi = 0.65$

للقص واللي  $\phi = 0.75$

وبصورة عامة فإن المقاومة المطلوبة يجب أن تكون أقل أو تساوي المقاومة التصميمية

$$M_u \leq \phi M_n \quad P_u \leq \phi P_n \quad V_u \leq \phi V_n \quad \text{أي أن :}$$

وللوصول إلى فهم أوضح لمعامل خفض المقاومة فان المقاومة الاسمية للمقطع يجب أن

تكون اكبر من المقاومة المطلوبة بمقدار يساوي  $(\frac{1}{\phi})$  على الأقل أي أن :-

$$M_n \geq \frac{M_u}{\phi}$$

$$P_n \geq \frac{P_u}{\phi}$$

$$V_n \geq \frac{V_u}{\phi}$$